

Pengaruh Penambahan HHO terhadap Kinerja dan Ionisasi Pembakaran Motor Bensin

Ali Akbar, ING Wardana, Lilis Yulianti
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang
Jl. MT Haryono 167 Malang 65145
Phone: +62-341-587711, Fax: +62-341-554291
E-mail: aliakbarumsida@yahoo.co.id

Abstract

This aim of this research was to conduct the effect of HHO which injected into the combustion chamber through the intake manifold of the gasoline four-stroke motorcycle engine. HHO is a mixture of hydrogen and oxygen was produced by water electrolysis process. The experiments were carried out by using the HHO generator in intake manifold to produced HHO gas, which injected into the combustion chamber. The HHO gas injection was varied of 0 ml/s, 0.75 ml/s, 1.5 ml/s, 2.25 ml/s and 3 ml/s based on the engine shaft revolution (rpm). The engine shaft revolutions were also varied at 1700 rpm, 2200 rpm, 2700 rpm, 3200 rpm, 3700 rpm, and 4200 rpm. The engine performance (power output effectively, SFC, and thermal efficiency), the ionization combustion (burning voltage and burning time) and exhaust gas emissions (HC and CO) were investigated. The results show that the addition of the HHO gas could improve the performance of the gasoline four-stroke engine. The effective of power out-put and thermal efficiency increase as increase the HHO injection. The specific fuel consumption (sfc) was also decreases as increases the HHO injection. The ionization combustion much better, which the voltage products of combustion increase and combustion time decrease as increase the HHO injection. The addition of HHO gas was also improved the quality of exhaust gas emission which are reduce the content of CO and HC gases due to the HHO enhance the combustion process. The hydrogen gas has a high diffusivity which can improve of the fuel mixing, turbulence and homogeneity. The hydrogen gas has the flame high faster than gasoline, therefore its decrease the burning time as increase the HHO injection.

Keywords: HHO, Hydrogen, Ionization, Gasoline Engine, Emissions

PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak bumi merupakan sumber energi yang ketersediaannya semakin terbatas, sedangkan kebutuhannya semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor. Disamping itu, pencemaran udara yang diakibatkan oleh emisi gas buang kendaraan bermotor, merupakan masalah serius yang harus dikurangi. Untuk itu perlu adanya upaya untuk mencari sumber daya energi alternatif yang lebih murah dan ramah lingkungan. Salah satu alternatif tersebut adalah penggunaan bahan bakar hidrogen. Teknologi ini menggunakan cara elektrolisis air dengan memanfaatkan arus listrik kendaraan bermotor, hasilnya yang berupa hidrogen dan

oksigen ditambahkan ke ruang bakar bersama-sama bahan bakar dan udara.

Variasi konfigurasi larutan elektrolit baking soda 1 gram, 2 gram, 3 gram, 4 gram, 5 gram, 10 gram, 15 gram, dan 20 gram dalam setiap 1 liter aquades diberikan pada generator HHO, performa generator HHO diuji selama 24 jam dan dilakukan juga pengujian generator HHO pada engine genset bensin dengan kelompok kontrol mesin tanpa penambahan generator HHO, dari penelitian didapatkan kesimpulan bahwa konfigurasi elektrolit baking soda 10 gram dengan elektroda luar sebagai katoda memiliki efisiensi generator HHO paling besar yaitu 9.43 %. Dari pengujian 24 jam, konfigurasi 1 gram memiliki efisiensi HHO terbesar dengan rata-rata kenaikan dari konfigurasi 3 gram

sebesar 74.55 %. Dari pengujian di motor generator-set bensin Yasuka, konfigurasi 10 gram hanya dapat mencapai beban 88.89%. Tetapi konfigurasi 1 gram dapat mencapai beban 111.11 % dengan prosentase kenaikan rata-rata efisiensi sistem genset ($\eta_{overall}$) sebesar 0.0022 % [1].

Untuk mengetahui pengaruh penambahan hidrogen pada motor bensin terhadap kinerja dan emisi gas buang dilakukan penelitian dengan menggunakan motor bensin 4 silinder dengan variasi injeksi hidrogen 0%, 3% dan 6% serta bekerja hanya pada 1400rpm. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah kualitas HC, CO, CO₂ yang paling rendah dicapai pada prosentase 6% H₂, sedangkan pada prosentase ini NO_x meningkat paling tinggi. *Brake thermal efficiency* juga meningkat seiring dengan peningkatan prosentase H₂ dimana pada prosentase penambahan hidrogen sebesar 6% efisiensi ini bisa meningkat menjadi 29% jika dibandingkan tanpa injeksi hidrogen yaitu sebesar 25% [2]. Penginjeksian uap minyak jarak pagar ke dalam motor bensin 4 tak dengan variasi prosentase uap minyak jarak yang dimasukkan ke dalam ruang bakar melalui *intake manifold* dan hasil yang didapatkan secara umum terjadi peningkatan kinerja motor, pada injeksi uap minyak jarak 5%. Dan dengan penambahan injeksi ini juga meningkatkan ionisasi pembakaran, kandungan gas buang HC menjadi lebih baik namun kadar CO meningkat (lebih buruk) [3]. Variasi injeksi hidrogen ke dalam motor diesel diteliti dengan memasukkan hidrogen murni melalui *intake manifold* dengan variasi sebesar 0%, 6%, 8% dan 10,1% volume bahan bakar. Hasil yang didapatkan adalah terjadi peningkatan kualitas emisi gas buang terutama NO, dan terjadi peningkatan tekanan silinder pada injeksi hidrogen 10.1 % [4].

Pertimbangan pengujian suatu *engine* ditentukan oleh unjuk kerja *engine* dan kadar emisi gas buang hasil pembakaran. Unjuk kerja menjadi penting karena berkaitan dengan tujuan penggunaan *engine* dan faktor ekonomisnya sedangkan tinggi rendahnya emisi gas buang berhubungan dengan faktor lingkungan.

Unjuk kerja motor pembakaran dalam dengan sistem penyalaan cetus (*spark ignition engine*) meliputi daya efektif yang

dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya efektif ini dibangkitkan oleh daya indikasi, yaitu suatu daya yang dihasilkan oleh torak, dimana sebagian daya ini digunakan untuk mengatasi gesekan mekanis [5,6]. Daya efektif didapatkan dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan angular poros (ω). Seperti pada persamaan 1.

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2} [\text{PS}] \quad (1)$$

Selain itu, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang merupakan jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1 PS selama 1 jam. Konsumsi bahan bakar diukur dengan menggunakan tabung ukur yang telah diketahui volumenya. Bahan bakar akan dialirkan melalui tabung ukur ini kemudian diamati waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar sebesar volume tersebut pada saat mesin bekerja. Konsumsi bahan bakar tersebut dikonversikan kedalam satuan kg/jam, maka akan diperoleh persamaan 2.

$$Fc = \frac{b}{t} \cdot \gamma_f \cdot \frac{3600}{1000} [kg \cdot jam^{-1}] \quad (2)$$

Dari nilai konsumsi bahan bakar (Fc) didapat nilai *specific fuel consumption* (SFC) yang ditunjukkan pada persamaan 3.

$$SFC = \frac{Fc}{Ne} [kg \cdot PS^{-1} \cdot jam^{-1}] \quad (3)$$

Konsumsi bahan bakar spesifik ini dapat dijadikan ukuran ekonomis dan tidaknya pemakaian bahan bakar.

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara kalor yang dirubah menjadi daya efektif dengan kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Efisiensi termal efektif merupakan suatu ukuran untuk mengetahui ekonomis atau tidaknya dalam pemakaian bahan bakar, karena nilai dari efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik. Jadi jika konsumsi bahan bakar spesifik efektif semakin turun, maka efisiensi termal efektif akan meningkat

[7,8,9]. Besarnya efisiensi termal efektif dihitung dengan rumus 4:

$$\eta_e = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632.N_e}{F_c.LHV_{bb}} = \frac{632}{SFC.LHV_{bb}} (\%) \quad (4)$$

Parameter pembakaran juga diukur dari emisi gas buang, bahan bakar bensin mengandung campuran dari beberapa hidrokarbon dan jika terbakar secara sempurna, pada gas buang hanya akan mengandung karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O) serta udara yang tidak ikut dalam proses pembakaran. Namun untuk beberapa alasan pembakaran yang terjadi adalah tidak sempurna dan akan terdapat karbon monoksida (CO), gas beracun yang mematikan dan hidrokarbon yang tidak terbakar (*unburned hidrocarbon*, UBHC) pada gas buang. Disamping CO dan HC , emisi utama yang ketiga adalah oksida dari nitrogen (NO_x) yang terbentuk oleh reaksi antara nitrogen dengan oksigen karena temperatur pembakaran yang tinggi. Kadar emisi gas buang ini diukur dengan menggunakan *gas analyzer*.

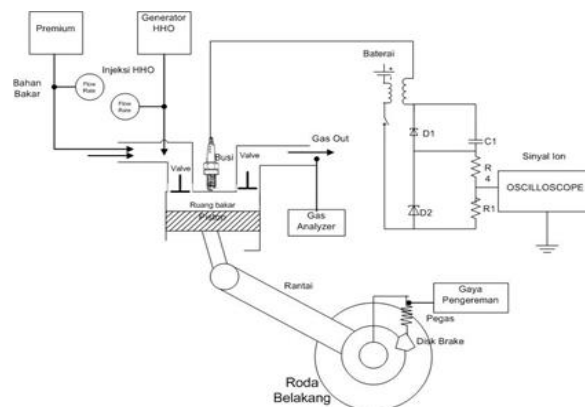
Parameter pembakaran lainnya adalah ionisasi pembakaran, ion merupakan atom atau molekul-molekul yang bermuatan, sedangkan molekul atau atom bermuatan akibat pemutusan ikatan molekul-molekul yang disebut radikal bebas. Molekul atau atom bermuatan tersebut sangat mudah bereaksi karena ketidakstabilan muatannya [10]. Ia akan mudah tertarik oleh molekul-molekul dengan muatan berlawanan. Jadi agar reaksi pembakaran bisa berlangsung

maka molekul-molekul bahan bakar dibuat bermuatan dengan cara melepas satu atau beberapa elektron dari kulit terluar atom atau memutus ikatan rantai molekul. Radikal bebas ini jika menghantam (menumbuk) molekul lainnya dapat menyebabkan jarak ikatan molekul tersebut merenggang dan mengerut secara periodik.

Ionisasi pembakaran merupakan ion-ion yang terbentuk dari hasil pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar. Untuk mengetahui besarnya ionisasi pembakaran dalam ruang bakar digunakan ion probe yang dihubungkan dengan *oscilloscope*, dimana pada *oscilloscope* akan dihasilkan sebuah grafik, dan besarnya ionisasi pembakaran ditentukan oleh sumbu y atau sumbu vertikal. Di samping itu juga terdapat parameter waktu pembakaran, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk membakar campuran bahan bakar dengan udara di dalam ruang bakar. Waktu pembakaran ini dapat dilihat pada sumbu x *oscilloscope*. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, sedikit sekali yang membahas tentang pengaruh injeksi HHO terhadap ionisasi pembakaran, oleh karena itu tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan HHO ke dalam motor bensin terhadap kinerja motor yang meliputi daya output dan *specific fuel consumption* (SFC), kualitas gas buang (HC , CO) dan ionisasi dalam proses pembakaran.

METODOLOGI PENELITIAN

Instalasi penelitian yang digunakan pada penelitian ini terlihat seperti gambar 1.



Gambar 1. Skema instalasi mesin bensin empat langkah pada pengujian

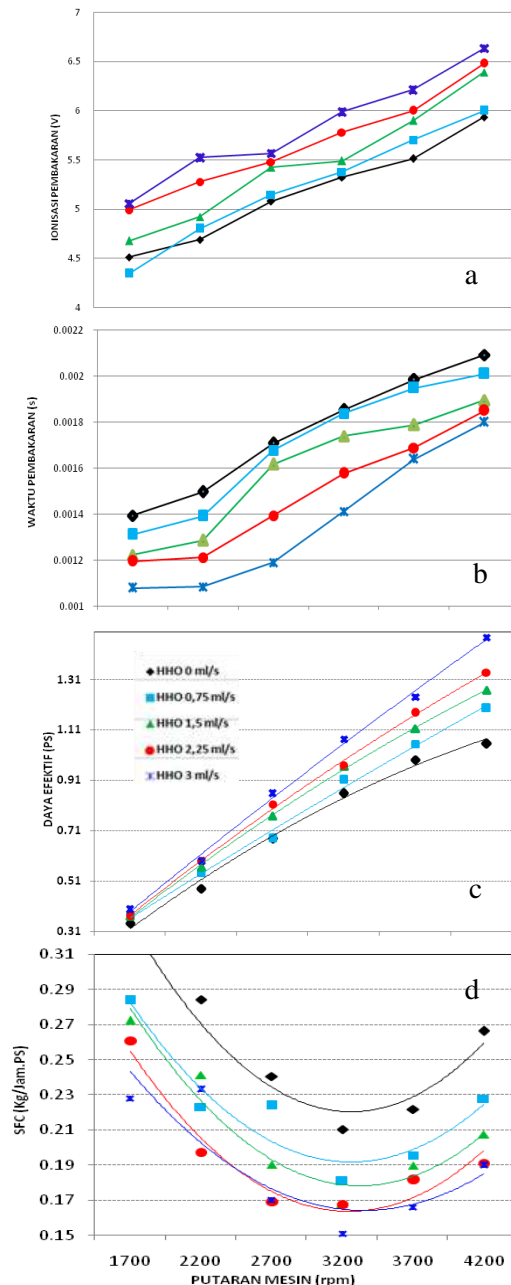
Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental (*experimental method*) dengan variabel bebas yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah: variasi penambahan HHO yang ditentukan 0 ml/s, 0,75 ml/s, 1,5 ml/s 2,25 ml/s dan 3 ml/s. Variabel terkontrolnya adalah tegangan yang dipakai untuk elektrolisis adalah 12 V, motor yang digunakan adalah motor Honda supra x 125, putaran mesin yang digunakan 1700 rpm, 2200 rpm, 2700 rpm, 3200 rpm, 3700 rpm dan 4200 rpm. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah: Daya motor, SFC, Emisi Gas Buang (HC, CO), Ionisasi Pembakaran dan Waktu Pembakaran.

Prosedur penelitian yang dilakukan yaitu mempersiapkan sepeda motor uji yang sudah diseting dengan generator HHO, sensor ion yang terhubung dengan *oscilloscope* dan alat pengukur konsumsi bahan bakar serta dinamometer cakram. Selanjutnya mengatur debit HHO yang akan dimasukkan melalui manifold dengan alat yang sudah dikalibrasi. Langkah terakhir adalah pengambilan data dengan mencatat *flow rate* HHO, konsumsi bahan bakar yang diamati selama 5 menit, gaya pengereman, putaran mesin, emisi gas buang dan sinyal ion pada *oscilloscope*. Pengambilan data ini dilakukan pada injeksi HHO 0 ml/s, 0,75 ml/s, 1,5 ml/s, 2,25 ml/s, 3 ml/s dengan variasi putaran mesin 1700 rpm, 2200 rpm, 2700 rpm, 3200 rpm, 3700 rpm dan 4200 rpm.

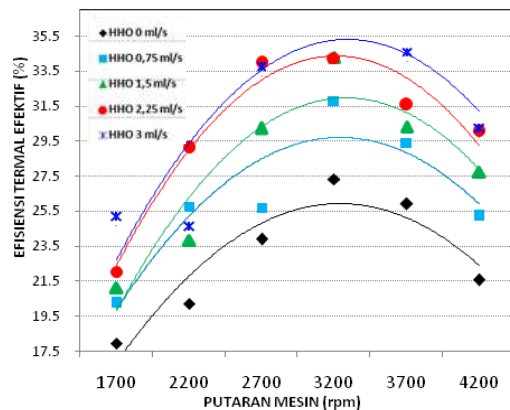
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pembahasan ini, hasil pengolahan data pengujian motor bensin disajikan dalam bentuk grafik, dimana setiap grafik akan ditampilkan hubungan parameter yang diukur yaitu ionisasi pembakaran, waktu pembakaran, daya efektif, *specific fuel consumption*, efisiensi termal serta kandungan emisi gas buang yang meliputi kadar CO dan HC. Setiap grafik diatas, parameter diukur terhadap perubahan putaran mesin dan ditampilkan secara bersamaan dengan *flowrate* injeksi HHO 0 ml/s sampai dengan 3 ml/s. Hasil analisa ionisasi pembakaran dan waktu pembakaran menggunakan data dari *oscilloscope* berupa file yang dapat diamati dengan bantuan program komputer dengan mengubah file ini menjadi data numerik yang

selanjutnya dapat dirubah menjadi gambar/grafik, sehingga grafik ini dapat diamati/dilihat besarnya ionisasi pembakaran (volt) dan besarnya waktu pembakaran (milidetik).



Gambar 2. Hubungan Putaran Mesin dengan
a. Ionisasi Pembakaran, b. Waktu
Pembakaran, c. Daya Efektif, d. *Specific Fuel
Consumption*.



Gambar 3. Hubungan Putaran Mesin dengan Efisiensi Termal Efektif.

Gambar 2a menunjukkan hubungan antara putaran mesin dengan ionisasi pembakaran pada berbagai *flowrate* injeksi HHO. Dari gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar putaran mesin maka ionisasi pembakaran yang terjadi semakin meningkat hal ini disebabkan karena tekanan dan panas yang terjadi didalam ruang bakar semakin meningkat, sehingga membantu memecah molekul molekul campuran bahan bakar tersebut agar terpecah menjadi ion-ion.

Sehingga ionisasi pembakaran yang terjadi akan semakin meningkat. Sedangkan injeksi HHO semakin besar akan menjadikan ionisasi pembakaran semakin meningkat, hal ini disebabkan energi yang diberikan kedalam ruang bakar akan bertambah, seiring dengan peningkatan *flowrate* HHO.

Gambar 2b menunjukkan hubungan antara putaran mesin dengan waktu pembakaran pada berbagai *flowrate* injeksi HHO. Dari gambar tersebut menunjukkan bahwa waktu pembakaran akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya putaran mesin, hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran mesin akan mempersulit terbakarnya campuran bahan bakar dengan udara, selain itu juga pada putaran tinggi akan menyebabkan tekanan akhir yang dihasilkan dan gaya dorong pada piston akan semakin kecil karena mekanisme buka tutup katup masuk yang semakin cepat, sehingga waktu pembakaran yang terjadi akan semakin lama. Adapun injeksi HHO semakin meningkat akan menurunkan waktu

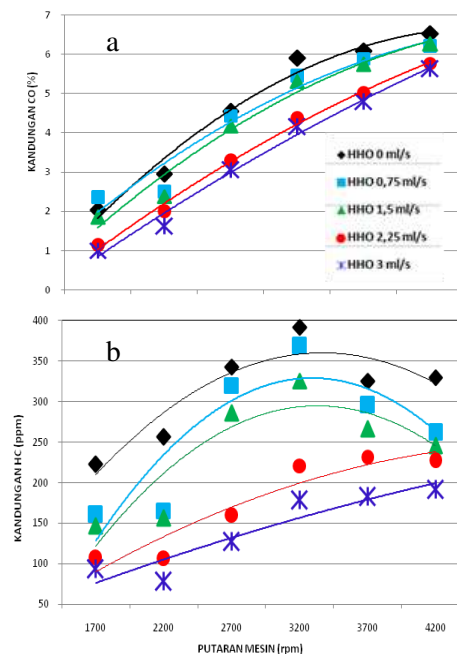
pembakaran, seperti diketahui bahwa sifat hidrogen mempunyai temperatur pembakaran dengan sendiri (*self ignition*) sangat tinggi akan tetapi waktu pembakarannya (kecepatan pembakarannya) lima kali lipat lebih cepat dari bahan bakar hidrokarbon dalam hal ini gasoline, sehingga dengan meningkatnya *flowrate* HHO maka secara otomatis kandungan hidrogen yang diberikan akan semakin meningkat sehingga waktu pembakaran campuran bahan bakar dengan udara akan semakin cepat. Hidrogen mempunyai difusivitas yang lebih tinggi dari pada bahan bakar hidrokarbon lainnya, sehingga dengan menginjeksi hidrogen ke dalam campuran bahan bakar akan memperbaiki campuran bahan bakar tersebut, meningkatkan turbulensi dan meningkatkan homogenitas sehingga kondisi ini akan meningkatkan kualitas pembakaran.

Gambar 2c menunjukkan hubungan antara putaran mesin dengan daya efektif pada berbagai *flowrate* injeksi HHO. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi putaran mesin akan semakin meningkatkan daya efektif mesin. Untuk meningkatkan putaran mesin maka pedal gas harus diputar ke belakang, hal ini akan membuka *throttle* karburator semakin membesar sehingga bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar semakin besar juga. Dengan pembakaran yang sempurna maka energi yang terjadi semakin besar sehingga daya output semakin besar juga. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa semakin besar *flowrate* yang dimasukkan ke dalam ruang bakar akan meningkatkan daya efektif mesin. Hal ini terjadi karena dengan masuknya HHO ke dalam ruang bakar akan meningkatkan kualitas pembakaran, seperti halnya keterangan diatas bahwa dengan penambahan hidrogen dalam hal ini HHO, maka akan memperbaiki kondisi campuran, meningkatkan turbulensi dan homogenitas sehingga pembakaran akan semakin sempurna. Gambar hubungan antara putaran mesin dengan *specific fuel consumption* pada berbagai *flowrate* injeksi HHO dapat dilihat pada gambar 2d. Definisi SFC adalah perbandingan antara konsumsi bahan bakar dengan daya efektif yang terjadi, sehingga semakin besar konsumsi bahan bakar akan memperbesar nilai SFC begitu pula sebaliknya

jika daya yang terjadi semakin besar maka nilai SFC menjadi lebih kecil. Pada grafik diatas, SFC menurun terjadi pada putaran rendah sampai putaran sedang (1700 rpm sampai dengan 3200 rpm) namun seiring dengan meningkatnya lagi putaran mesin menjadi lebih tinggi maka nilai SFC akan meningkat lagi. Sehingga pada putaran mesin 3200 rpm menunjukkan performa yang terbaik, hal ini karena pada kondisi tersebut pembakaran yang terjadi sangat sempurna. gambar tersebut juga menunjukkan bahwa dengan penambahan HHO maka SFC yang terjadi akan semakin baik, hal ini terjadi karena dengan penambahan HHO, kecepatan pembakaran yang terjadi akan meningkat sehingga pembakaran akan semakin sempurna.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara putaran mesin dengan efisiensi termal efektif pada berbagai *flowrate* injeksi HHO. Gambar tersebut menunjukkan bahwa efisiensi termal akan meningkat seiring dengan naiknya putaran mesin yaitu terjadi pada putaran 1700 rpm sampai dengan 3200 rpm, namun jika putaran mesin ditingkatkan maka efisiensi yang terjadi semakin menurun hal ini disebabkan karena pada putaran rendah konsumsi bahan bakar yang dimasukkan ke dalam ruang bakar tidak sepenuhnya berubah menjadi energi mekanis, sedangkan pada putaran tinggi efisiensi semakin menurun dikarenakan kerugian mekanis yang terjadi semakin besar, panas yang terjadi juga meningkat dan kondisi pembakaran juga tidak begitu sempurna, karena mekanisme buka tutup katup terlalu cepat sehingga campuran bahan bakar dengan udara kurang begitu sempurna. Sedangkan semakin besar *flowrate* HHO yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar menjadikan efisiensi semakin baik, mengingat hidrogen yang terkandung pada HHO mempunyai sifat batas *Lean* $\phi = 0,1$ (kondisi suatu campuran dimana penyalaan tidak bias merambat karena kelebihan udara) yang lebih rendah dari pada gasoline yaitu secara teoritis $\phi = 0,6$, hal ini memungkinkan terjadi pembakaran yang sempurna meskipun kondisi udara berlebih asal penambahan HHO tetap berlangsung [11]. Sehingga pembakaran yang sempurna ini akan

meningkatkan kinerja dan efisiensi kendaraan.



Gambar 4. Hubungan Putaran Mesin dengan Emisi Gas Buang a. CO, b. HC.

Gambar hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas CO pada berbagai *flowrate* injeksi HHO dapat dilihat pada gambar 4a. Pada beberapa literatur, penambahan injeksi hidrogen akan menurunkan kandungan CO [9] sebagai emisi yang sangat berbahaya terhadap lingkungan. Begitu juga pada grafik tersebut dengan penambahan HHO maka emisi CO yang ditimbulkan semakin menurun, hal ini terjadi karena suplai oksigen dan hidrogen yang berlebih mampu mereaksikan hidrokarbon dengan udara menjadi H_2O dan CO_2 lebih banyak dan CO yang terbentuk akan lebih sedikit. Sedangkan semakin besar putaran mesin akan mengakibatkan semakin meningkatnya kandungan gas CO, hal ini terjadi karena reaksi kimia yang terjadi tidak stoikiometri lagi. Semakin tinggi putaran mesin mengakibatkan campuran bahan bakar dan udara semakin kaya, hal ini mengakibatkan meningkatnya kandungan gas CO. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin akan mengakibatkan tingginya kandungan emisi gas CO hasil pembakaran.

Gambar hubungan antara putaran mesin dengan emisi gas HC pada berbagai *flowrate* injeksi HHO dapat dilihat pada gambar 4b. Gas HC merupakan residu atau sisa pembakaran dari bahan bakar yang tidak terbakar, hal ini dikarenakan kondisi pembakaran yang kurang sempurna, sehingga sebagian bahan bakar tidak bisa bereaksi dengan udara. Gambar 4 menunjukkan hubungan antara emisi gas HC dengan putaran mesin, dimana semakin tinggi putaran mesin mengakibatkan kadar gas HC semakin meningkat, hampir sama dengan beberapa jurnal yang ada, peningkatan ini akibat semakin singkatnya waktu pembakaran yang tersedia. Namun setelah di injeksi HHO ke dalam ruang bakar maka hidrogen ini mampu memperbaiki kualitas pembakaran yang terjadi, sehingga semakin besar *flowrate* HHO yang dimasukkan ke dalam ruang bakar maka kandungan HC semakin menurun.

KESIMPULAN

Dari pengamatan dan analisis terhadap hasil eksperimen yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan penambahan HHO maka:

1. Daya output meningkat rata rata 19 %.
2. *Specific fuel consumption* menurun 26 %.
3. Emisi gas buang lebih baik (kadar CO dan HC menurun) masing masing 40 % dan 38 %.
4. Ionisasi pembakaran semakin baik (Voltase meningkat 12 %, waktu pembakaran menurun 22 %).

Jadi secara umum dapat ditarik kesimpulan, dengan penambahan HHO ke dalam motor bensin akan meningkatkan kinerja mesin dan memperbaiki emisi gas buang yang dikeluarkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suprastowo, 2009, Pengaruh Variasi Konfigurasi Elektrolit terhadap Performa Generator HHO – ITS, Surabaya.
- [2] Changwei Ji and Shuofeng Wang, 2009, Effect of hydrogen addition on the idle performance of a spark ignited gasoline engine at stoichiometric condition, Beijing University of Technology, Beijing, China.
- [3] Aprelianto P., 2009, Pengaruh Variasi Persentase Injeksi Uap Minyak Jarak Pagar Melalui Intake Manifold Terhadap Ionisasi Pembakaran dan Kinerja Mesin, Universitas Brawijaya, Malang.
- [4] Toru Miyamoto, Hirokazu Hasegawa, Masato Mikami, Naoya Kojima, Hajime Kabashima, and Yasuhiro Urata, 2011, Effect of hydrogen addition to intake gas on combustion and exhaust emission characteristics of a diesel engine, Yamaguchi University, Yamaguchi, Japan.
- [5] John B Heywood, 1989, *Internal Combustion Engine Fundamental*, McGraw-Hill.
- [6] Richard Stone, 1992, *Introduction to Internal Combustion Engines*, 2nd, Mucmillan.
- [7] Arismunandar, W. dan Trusda, K., 1975, *Motor Diesel PutaranTinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [8] Mathur M. L. and R. P. Sharma, 1980, *A course in internal combustion engines*, Dhanpat Rai & Sons.
- [9] Turns, Stephen, 1996, *An Introduction to Combustion*, McGraw-Hill, New York.
- [10] Wardana, ING, 2008, *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*, PT. Danar Wijaya Brawijaya University Press, Malang.
- [11] Andrea T. D., Henshaw P. F. and Ting D. S. K., 2004, *The addition of hydrogen to a gasoline-fuelled SI engine*, Canada.